



EESTI MAAÜLIKOOL
Tehnikainstituut

Kaari Helstein

**AS SCANOLA BALTIC VALMISTOODANGU LAO
KÜTTESÜSTEEMI UUENDAMINE**

**RENEWING OF HEATING SYSTEM FINAL PRODUCT
WAREHOUSE OF AS SCANOLA BALTIC**

Bakalaureusetöö
Tehnika ja tehnoloogia õppekava

Juhendaja: professor Andres Annuk, PhD

Tartu 2018

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Autor: Kaari Helstein		Õppekava: Tehnika ja tehnoloogia	
Pealkiri: AS Scanola Baltic valmistoodangu lao küttesüsteemi uuendamine			
Lehekülgi: 31	Jooniseid: 5	Tabeleid: 1	Lisaid: 1
Osakond /Õppetool: Energiakasutuse õppetool			
ETIS-e teadusvaldkond ja CERC S-i kood: 4. Loodusteadused ja tehnika,			
4.17. Energeetikaalased uuringud;			
T140 Energeetika			
Juhendaja(d): energiavarusute professor Andres Annuk, PhD			
Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu, Eesti. 29.08.2018			
<p>Käesoleva bakalaureusetöö teema valiti lähtudes AS Scanola Baltic rapsiõli tehase vajadusest. Eesmärk on arvutada ladudes soojusbilanss ja leida uus lahendus lao kütmiseks. Esmalt antakse väike ülevaade ettevõttest ja hetke tingimustest laos. Soojuskadude leidmise järel tehakse valik uuele küttesüsteemile. Teostatakse olulised arvutused torustiku valikuks. Süsteemi automaatseks toimimiseks valitakse ka andurid ja termoregulaatorid.</p> <p>Antud teemast lähtudes on tulevikus vaja leida lahendused temperatuuride automaatseks salvestamiseks. Lisaks võiks leida uued lahendused ka ventilatsiooni süsteemile.</p>			
Märksõnad: energia, soojuskadu, küttesüsteem			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Bachelor's Thesis	
Author: Kaari Helstein		Speciality: Engineering	
Title: Renewing of Heating System Final Product Warehouse of AS Scanola Baltic			
Pages: 31	Figures: 5	Tables: 1	Appendixes: 1
<p>Department / Chair: Chair of Energy Application Engineering</p> <p>Field of research and (CERC S) code: 4. Natural Sciences and Engineering,</p> <p>4.17. Energetic Research,</p> <p>T140 Energy research</p> <p>Supervisors: Andres Annuk</p> <p>Place and date: Tartu, 29.08.2018</p>			
<p>The subject of this Bachelor's thesis was selected on the needs of the Scanola Baltic rapeseed oil plant. The goal is to calculate heat balances in warehouses and find a new solution for heating the warehouse. At first, a brief overview of the company and the current conditions in the warehouse are given. After the heat loss is found, a choice for the new heating system is made. Significant calculations are made to select the pipeline. Sensors and thermostats are also selected for the automatic operation of the system.</p> <p>On the basis of this subject, it will be necessary in the future to find solutions for automatic temperature recording. In addition, new solutions could be found for the ventilation system.</p>			
Keywords: energy, heat loss, heating system			

SISUKORD

Sissejuhatus	5
1. Küttesüsteemid	6
1.1. Küttesüsteemide liigitus	6
1.2. Vesiküttesüsteemid	6
2. Ülevaade ettevõttest	8
2.1. AS Scanola Baltic	8
2.2. Valmistoodangu ladu	9
2.3. Sooja tootmine	11
2.4. Katlamaja	11
3. Soojustehnilised arvutused laos	13
3.1. Soojustamata lao konstruktsioonimaterjalid	13
3.2. Soojustatud lao konstruktsioonimaterjalid	13
3.3. Soojustamata lao seina soojuskao arvutused	13
3.4. Soojustamata lao katuse soojuskao arvutused	16
3.5. Soojustatud lao soojuskao arvutused	17
4. Torustiku arvutused	19
4.1. Torude valik	19
4.2. Soojustamata ladu	19
4.3. Soojustatud ladu	20
4.4. Kütetorude valik	21
4.5. Küttekehade kinnitamine	23
5. Muud süsteemiosad	24
5.1. Õhutuskapid	24
5.2. Termostaatventiilid	24
5.3. Andurid	25
Kokkuvõte	27
Summary	28
Kasutatud kirjandus	29
Lisa	30

SISSEJUHATUS

Käesolev teema on pärit autori töökohast. Küsimusele: „Kas meil siin on midagi vaja ära teha?“ andis tehnikaosakond vastuse, et valmistoodangulaos oleks vaja uuendada küttesüsteemi. Hoone, mille küttesüsteemi uuendada planeeritakse, sai kirjelduste kohaselt energiaklassiks „hõre“.

Antud töö eesmärgiks on leida võimalused küttesüsteemi värskendamiseks. Selle jaoks on vaja leida praegu olemasolevate ehitiste soojuskaod ja saadud andmetest lähtudes teha valikud uue lahenduse leidmiseks.

Töö esimeses pooles antakse lühiülevaade erinevatest küttesüsteemi liikidest ja kirjeldatakse põhjalikumalt vesikütte kasutamist, sest kogu ettevõttes toodetav soojus tuleb vesiküttet ja seda muutma ei hakata.

Teises peatükis kirjeldatakse ettevõtet, katlamaja ja praegusi tingimusi valmistoodangu laos.

Edasi teostatakse soojustehnilised arvutused ning leitakse hoone soojakaod. Seejärel teostatakse torustiku ja vajalike lisade valik.

Viimases osas räägitakse andurite valikust temperatuuri mõõtmiseks ja süsteemi kontrollimiseks ja ka muudest osadest ilma milleta küttesüsteem toimida ei saa.

Töös on kasutatud autori fotosid, kui ei ole viidatud teisiti.

1. KÜTTESÜSTEEMID

1.1. Küttesüsteemide liigitus

Küttesüsteemi peamine ülesanne on soojuse ühtlane jaotamine tarbijate vahel, nii et kõikides ruumiosades oleks tagatud ühtlane temperatuur ja soojuskaod oleksid võimalikult väikesed [1].

Küttesüsteeme saab liigitada mitme tunnuse järgi:

- 1) Soojusallika asukoht. Kohtküttesüsteemide korral toodetakse soojusenergia kohapeal oleva hoone kütmiseks. Keskküttesüsteemide korral toodetakse soojus kaugemal ja see on ette nähtud ühe või mitme hoone üheaegseks kütmiseks.
- 2) Energiakandja. Fossiilkütused, mis võivad põhineda vedel-, gaas- ja tahketel kütustel. Biokütustel, mille alla kuuluvad erinevad taastuvkütused ja organismide elutevuse tagajärjel tekkinud kütused. Elekterkütused, mille puhul muudetakse elektrienergia otseselt või kaudselt soojuseks.
- 3) Soojusenergia ülekandmisviis ruumi. Kiirguskütte puhul antakse peamine osa soojusest ruumi kiirguse teel. Konvektiivkütte kasutamisel toimub soojusülekanne madalama temperatuuriga ruumiõhu kokkupuutel kõrgema temperatuuriga küttekeha pinnaga.
- 4) Soojuskandja iseloom. Soojuskandjaks võivad olla vesi, õhk või aur [1].

1.2. Vesiküttesüsteemid

Küttesüsteem on suletud ahel, mille algus ja lõpp-punkt on samad. See koosneb soojusallikatest, -tarbijatest ja neid omavahel ühendavatest torustikest, koos neil paiknevate erinevate seadmetega. Torustik transpordib soojusallika toodetud soojuse küttesüsteemi lõppseadmeteni ja tagab selle ringluse [1]. Süsteemis olevad torustikud tuleb valida sellisest, et kogu transporditav soojus jõuaks tarbijani minimaalselt väikeste kadudega. Torude materjal võib olla nii metall kui ka plastik.

Vesiküttesüsteemid liigitatakse soojuskandja liikumisviisi järgi. Need võivad olla loomuliku või sundringlusega.

Loomuliku ringlusega süsteemides liigub soe vesi torustikes soojendatud ja jahatunud vee tiheduste erinevuse tõttu. Loomuliku ringlusega süsteemis soojeneb vesi katlas ja jahtub küttekehas. Lisaks katlale, torudele ja küttekehale on süsteemis ka paisupaak, mis peab asetsema süsteemi kõrgeimas punktis ja mis tagab vee soojenemisel tekkiva veemahu suurenemise kompensatsiooni, staatilise rõhu ning õhu eemaldamise. Sellises süsteemis peab katel olema alati paigutatud küttekehadest allapoole [2]. Kuigi süsteemi on lihtne ehitada ja hooldada, ringluse tekitamiseks puuduvad kulud, tööd ei häiri elektrikatkestused ning süsteem on isereguleeruv kasutatakse seda praegusel ajal väikese tegevusraadiuse tõttu vähesel määral ainult eramutes [1].

Suurtes hoonetes kasutatakse sundringlusega süsteeme, milles soojuskandja tsirkulatsiooni stimuleeritakse elektrijõul töötava pumbaga. Pump paigaldatakse katla ja süsteemi vahele nii, et ta pumpab soojuskandjat süsteemist katlasse. Sundringluse korral võivad küttekehad asuda katla suhtes nii all kui ülalpool. Võrreldes loomuliku ringlusega liigub vesi antud süsteemis oluliselt kiiremini. Süsteemi kavandatud pumbad varustatakse möödavoolutoruga, et elektrikatkestuse korral saaks soojuskandja edasi liikuda loomuliku ringlusega. [2]

2. ÜLEVAADE ETTEVÕTTEST

2.1. AS Scanola Baltic

AS Scanola Baltic on rapsiseemnete töötlemistehas Jõgevamaal Painkülas, mis toodab kuumpressimise meetodil inimtarbimiseks mõeldud rafineeritud rapsiõli ja loomasöödaks proteiinirikast rapsikooki ja söödaõli [3]. Antud hooned olid esmalt planeeritud tähtlase tootmiseks, kuid selleks pole ehitist kunagi kasutatud. Ettevõtte alustas tööd 1999 aastal, aastast 2012 on tehas uue omaniku käe all järjest suuremaks arenenud. Kasvanud on vastuvõetava tooraine hulk, rapsseemne töötlemisvõime ja tootmis- ning pakendusmahud. Ehitise põhiplaan on toodud joonisel 1.



Joonis 1. Painküla rapsiõli tehas: 1) valmistoodanguladu, 2) rafineerimis- ja pakendusosakond, 3) ladu ja pesula, 4) katlamaja, 5) pressimisosakond, 6) rapsikoočilaod ja 7) toorainelaod [4].

2.2. Valmistoodangu ladu

Valmistoodangu ladu koosneb kolmest hoonest. Kaks kõrvuti olevat ühesuurst hoonet, millest ühe põrandapindala 552 m², mis on ühendatud väikese koridoriga. Lisaks nende ees olev hooneosa, põrandapindalaga 453 m², mis varem oli kasutusel vahelaona. Viimane soojustati mõned aastad tagasi ja on nüüd ka toote hoiustamiseks mõeldud, kus toimub ka toote laadimine autodele. Ladude mõõtmed on toodud tabelis 1.

Tabel 1. Lao mõõtmed, mõõdetud seadmega Würth WDM.

	Pikkus, m	Laius, m	Kõrgus (madalaim), m	Kõrgus (kõrgem), m
Ladu 1 ja 2	36,3	15,2	6,1	7,6
Ladu 3	27,6	16,4	3,9 ja 4,9	6,1

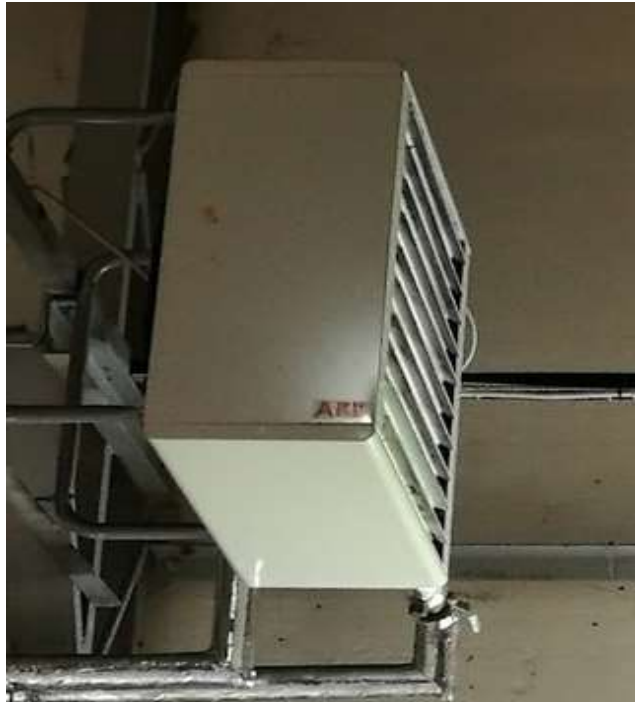
Märkus: Ladu 3 on laadimisestakaadiga ja seetõttu on kõrgus laeni erinev

Soojustamata laos toimub hetkel kütmine 4 kalorifeeriga, mida on näha joonisel 2. Kalorifeer koosneb kahest jaotuskarbist, mis on ühendatud ribitorudega. Soojendustorude vahel jaotatakse soojuskandjad võrdselt jaotuskarpide abil. Ühte karpi antakse kuum soojuskandja ning teisest eemaldatakse jahtunud soojuskandja. [2]

Laohalle köetakse komplektsete õhkkütteseadmetega ATDA- 55-1, mis on pärit firmalt ABB Coiltech AB. Soojuskandjaks on vesi parameetritega 80/60 °C. Seadmed on kinnitatud laohalli postidele ning on varustatud juhtimis- ja reguleerimisautomaatikaga. (5)

Soojussõlmest jaotuspunkti on paigaldatud isoleeritud toru DN 65. Jaotuspunktist hargneb edasi kahte tüüpi torusid kahe kalorifeerini viib toru DN 25. Kaks kalorifeeri on ka omavahel ühenduses sama tüüpi toruga, aga nendest esimesse viib vett toru suurusega DN 32. Torud on soojustatud alumiiniumfooliumkattega isoleerkoorikuga. [5]

Soojustatud ladu on köetakse kolme kalorifeeriga.



Joonis 2. Laos olev kalorifeer.

Lao temperatuuri mõõdetakse hetkel automaatseadmega EBI 300 (joonis 3), millele on ette määratud mõõtmisandmete salvestamine iga kuue tunni tagant. Tegu on mälupulgana toimiva seadmena, millelt andmed vastava programmiga *Winlog.basic* laaditakse vastavatesse failidesse.



Joonis 3. Lao automaatne termomeeter [6] .

Õli säilitamiseks vajalikud tingimused on jahe ruum ja hoidmine otsese päikesevalguse eest varajatuna. AS Scanola Baltic on määranud laos vajalikuks saavutatavaks temperatuuride vahemikuks 15...20 °C.

2.3. Sooja tootmine

Praegusel hetkel toimub küttesüsteemi soojustootmine õli jahutamisel soojeneva veega. Õli saavutab oma viimases tootmisetapis vaakumi all temperatuuri 240°C ja see on protsessi lõpuks vaja jahutada uuesti 20-25°C peale. Jahutamine toimub läbi mitme soojusvaheti. Õli jahutamist tulenev soe vesi kuumutab soojasõlmes asuvat 1600 liitrist akumulatsiooni paaki, millele on ette antud temperatuur 85 °C. Süsteemis on pehmendatud vesi, mis soojendab keskkütte torustikku väljuvat vett 65°C. Tagasi akumulatsioonipaaki jõudva vee temperatuur on 35 °C. Selles soojasõlme kaudu köetakse ka ettevõtte tarbevett.

2.4. Katlamaja

Ettevõtte on oma katlamaja (joonis 4). Selles asub kaks katelt, millest reeglina töötab üks ja teine on koguaeg ootevalmis. Katla võimsus on 3,9 MW ja maksimaalne soojustootlikkus on 3,5 t/h.



Joonis 4. Katlamaja sisevaade.

Üldjuhul on katlamaja kasutusel toote valmistamiseks vajaliku auru saamiseks, aga eriti külmal ajal talvel jääb tootmisest tuleneva õli soojust kasutamisest väheks ja sellisel juhul

liidetakse juurde ka keskküttesüsteem. Aurukütte puhul juhitakse küttekehadesse ülekuumendatud või küllastunud aur, mis jahtudes kondenseerub ja väljub küttekehadest kondensaadina [1].

Soojusenergia tootmise ja kasutamise kohta erinevates osakondades arvestust ei peeta. Kogu tehase kohta on andmed olemas, aga seda ei ole mõõdetud, vaid arvestatud soojasõlme kuluva auru koguse pealt.

3. SOOJUSTEHNILISED ARVUTUSED LAOS

3.1. Soojustamata lao konstruktsioonimaterjalid

Lao seinad on ehitatud 400 mm tuhaplokist, mis see omakorda on kaetud 0,5 mm paksuse plekiga. Soojustust ploki ja pleki vahele puudub. Roovituse paksus kahe kihi vahel on 50 mm.

Katusele on paigaldatud penoplastiga sandwich plaat paksusega 120 mm. Põrandad on betoonist. Kõrvuti asetsevate ladude seintes on kokku 6 akent mõõtudega 1000 x 1000 mm.

Põranda ja akende soojuskadusid ei ole töös arvatud.

3.2. Soojustatud lao konstruktsioonimaterjalid

Ladu soojustati mõned aastad tagasi. Eelnevalt oli tegu plekkseinetega ruumiga, mis oli talvel külm ja suvel palav. Nüüd on seinad kaetud 100 mm kivivilla täitega sandwich plaadiga, mis on kaetud plekiga trapets T20. Katusel on sama materjal, mis teises laos penoplastiga sandwich plaat paksusega 120 mm.

3.3. Soojustamata lao seina soojuskao arvutused

Külgseinte pindala kokku:

$$S_1 = 2 \cdot a \cdot b = 2 \cdot 36,3 \cdot 6,1 = 442,86 \text{ m}^2 \quad (3.1)$$

kus a on lao seina pikkus, m;

b – lao seina kõrgus, m;

Otsaseina pindala:

$$S_2 = b \cdot c + \frac{c \cdot h}{2} = 6,1 \cdot 15,2 + \frac{15,2 \cdot 1,5}{2} = 104,12 \text{ m}^2 \quad (3.2)$$

kus c on lao seinä laius, m;

h – katuse aluse kõrgust tipust, m.

Teise otsaseina pind on suuremas osas seotud vahelao ja välisõhuga kokku puutuv ala on väiksem.

$$S_3 = b \cdot c + \frac{c \cdot h}{2} - (c \cdot d + \frac{c \cdot f}{2}) \quad (3.3)$$

kus d on vahelao seinä kõrgus, m;

e – katuse aluse kõrgust tipust, m.

f – katuse aluse kõrgus vahelao tipust, m.

$$S_3 = 6,1 \cdot 15,2 + \frac{15,2 \cdot 1,5}{2} - (15,2 \cdot 4,9 + \frac{15,2 \cdot 1,2}{2}) = 20,52 \text{ m}^2$$

Kogu seinä pindala:

$$S = S_1 + S_2 + S_3 = 567,5 \text{ m}^2 \quad (3.4)$$

Seinä soojuvoo arvutused läbi pinna on tehtud keskmise aastase välistemperatuuri kohta. Aastast 2015 on aastane keskmine temperatuur $6,0 \text{ }^\circ\text{C}$ [7]. Lao sisetemperatuuriks arvestame $17,0 \text{ }^\circ\text{C}$. Soojusülekanne teguri väärtus seinä sisepinnal on $6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ja välispinnal $12 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Temperatuur

$$\Delta t = t_s - t_v = 17 - 6 = 11^\circ\text{C} \quad (3.5)$$

kus Δt on temperatuuride vahe, $^\circ\text{C}$;

t_s – ruumi sisetemperatuur, $^\circ\text{C}$;

t_v – ruumi välistemperatuur, $^\circ\text{C}$.

Soojustakistused hoone sise ja välispinnal [8]:

$$R_\alpha = \frac{1}{\alpha} \quad (3.6)$$

kus α on soojusülekanne teguri väärtus seinä pinnal, $\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$;

$$R_{sise} = \frac{1}{6} = 0,1667 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{välis} = \frac{1}{12} = 0,0833 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

Soojustakistuste arvutused kihtides: [9]

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i} \quad (3.7)$$

kus R_i on soojustakistus, $\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$;

δ_i – seina kihi paksus, m;

λ_i – materjali soojusjuhtivus tegur, $\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$.

$$R_{plekk} = \frac{5 \cdot 10^{-4}}{16} = 3,125 \cdot 10^{-5}$$

$$R_{õhk} = \frac{5 \cdot 10^{-2}}{0,02} = 2,5 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{plokk} = \frac{0,45}{0,24} = 1,875 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

Soojuskadu läbi seina:

$$R = R_{sise} + R_{välis} + R_{plekk} + R_{õhk} + R_{plokk} \quad (3.8)$$

$$R = 0,1667 + 0,0883 + 3,125 \cdot 10^{-5} + 2,5 + 1,875 = 4,63 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

Soojusvoog läbi pinna [8]:

$$\varphi = \frac{\Delta t}{R} = \frac{11}{4,63} = 2,376 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad (3.9)$$

kus φ on soojusvoog läbi pinna, $\frac{\text{W}}{\text{m}^2}$.

Soojuskadu seina kohta [8]:

$$Q_p = \varphi \cdot S \quad (3.10)$$

kus Q_p on soojuskadu seina kohta, W.

$$Q_{sein} = 2,376 \cdot 567,5 = 1348,38 \text{ W}$$

3.4. Soojustamata lao katuse soojuskao arvutused

Katuse pinna soojuskao arvutuseks leitakse katuse pind:

$$S_{katus} = 2 \cdot 36,3 \cdot 7,7 = 559,02 \text{ m}^2$$

Soojustakistus katuse materjalis leitakse valemi 2.5 järgi:

$$R_{katus} = \frac{1}{0,19} = 5,263 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

Kogu takistus katusel on summa soojustakistusest välis ja sisepinnal ja arvutatud pinnakihtide takistusest:

$$R = 0,1667 + 0,0883 + 5,263 = 5,518 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

Soojusvoog läbi katuse leitakse valemist 2.8:

$$\varphi = \frac{11}{5,518} = 1,99 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Soojuskadu katuse kohta leitakse valemist 2.9:

$$Q_{katus} = 1,99 \cdot 559,02 = 1112,45 \text{ W}$$

Kogu soojuskadu hoones on leitav sein ja katusepinna summana:

$$Q_{1ladu} = Q_{sein} + Q_{katus} = 2460,83 \text{ W}$$

Kõrvuti asub kaks laoruumi, millest teise soojuskadu on ühe otsaseina pindala võrra suurem.

$$S_{2ladu} = 2 \cdot \left[36,3 \cdot 6,1 + \left(6,1 \cdot 15,2 + \frac{15,2 \cdot 1,5}{2} \right) \right] = 651,1 \text{ m}^2$$

Katuse pindala on sama. Seega teise lao kogu arvestatav soojuskadu on

$$Q_{sein} = 2,376 \cdot 651,1 = 1547,014 \text{ W}$$

Kogu sein soojuskadu teises laos

$$Q_{2ladu} = Q_{sein} + Q_{katus} = 2659,59 \text{ W}$$

Edasised arvutused tehakse kogu laopinnale ühiselt. Seega kogu soojuskadu ladudes on:

$$Q_{ladu} = Q_{1ladu} + Q_{2ladu} = 5120,42 \text{ W}$$

Kuigi on teada, et suurem osa soojusest eraldub hoonetest katuste kaudu, siis antud arvutused näitavad, et valitud kattematerjal on viinud soojuskaod laos väikeseks ja sellega seoses on seina ja katuse soojuskadu samas suurusjärgus.

3.5. Soojustatud lao soojuskaod arvutused

Soojustatud lao arvutusteks kasutatakse valemeid eelmisest peatükist. Siin tuleb arvesse võtta ainult külgseinad ja katus, sest otsaseinad on ühendatud lao ja pakenduosakonna vahele.

$$S_{katus} = 2 \cdot 27,6 \cdot 8,3 = 458,16 \text{ m}^2$$

Katusematerjalid laos on samad ja tuleb siin välja arvutada vaid valemist 3.10 soojuskadu katuse kohta

$$Q_{katus} = 1,99 \cdot 458,16 = 911,74 \text{ W}$$

Seinad on laadimisestakaadi tõttu erineva pindalaga. Valemist 3.1 leitakse kummagi seina pindalad.

$$S_1 = 27,6 \cdot 3,9 = 107,64 \text{ m}^2$$

$$S_1 = 27,6 \cdot 4,9 = 135,24 \text{ m}^2$$

Soojustakistus läbi seina valemist 2.5:

$$R_{sein} = \frac{1}{0,38} = 2,632 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

Valemist 3.8 leitakse kogu lao seinatakistus

$$R = 0,1667 + 0,0883 + 2,632 = 2,887 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

Valemist 3.9 leitakse soojusvoog läbi seina:

$$\varphi = \frac{11}{0,518} = 3,81 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Valemist 3.10 leitakse soojuskadu läbi seina:

$$Q_{sein} = 3,81 \cdot 242,9 = 925,49 \text{ W}$$

Kogu soojuskadu vahelaos:

$$Q_{vaheladu} = Q_{sein} + Q_{katus} = 1837,23 \text{ W}$$

Arvutusi tehes on eeldatud, et ükski uks pole avatud.

4. TORUSTIKU ARVUTUSED

4.1. Torude valik

Ruumis vajaliku temperatuuri saavutamiseks tuleb kõigepealt ära katta soojuskadudest tekkiv energiavajadus.

Toiduaine tööstuses peavad olema pinnad lihtsalt puhastatavad, seega on mõistlik kasutada terasest siletoruküttekehasid, mille eeliseks on kerge hooldus ja neid võib teha täpselt sellise pikkusega nagu vaja. Siletoruküttekehad on suurte mõõtmetega, sest nende soojusväljastus jooksva meetri kohta väike ja seetõttu on neid sobilik kasutada kohtades, kus on palju vaba seinapinda. Nende soojuseeriväljastus oleneb toru läbimõõdust ja kasvab toru läbimõõdu suurenedes. [1]

Torustikus voolava vee temperatuuriks on ette antud 65 °C. Tagasivoolu temperatuur on 35 °C. Lao temperatuuri saavutatav vahemik on 15...20 °C, arvutused on tehtud 17 °C juures.

4.2. Soojustamata ladu

Küttekeha soojusväljastus määratakse siseõhu- ning peale- ja tagasivoolutemperatuuridel. Standardi järgsed väärtused on 20 °C, 75 °C ja 65 °C [10]. Tavaoludes töötavad seadmed standardist erinevalt ja seega tehakse ümberarvutused [1].

Esmalt leitakse standardtingimustele vastav logaritmiline temperatuuride vahe [1]:

$$\Delta t_{ln,n} = \frac{t_{s,pv} - t_{s,tv}}{\ln \frac{t_{s,pv} - t_0}{t_{s,tv} - t_0}} \quad (4.1)$$

kus $\Delta t_{ln,n}$ küttekehasse siseneva ja väljuva ning ruumiõhu temperatuuride logaritmiline vahe, °C;

t_0 – õhutemperatuur, °C;

$t_{s,pv}$ – soojuskandja pealevoolu temperatuur, °C;

$t_{s,tv}$ – soojuskandja tagasivoolu temperatuur, °C;

$$\Delta t_{ln} = \frac{75 - 65}{\ln \frac{75 - 20}{65 - 20}} = 49,8 \text{ °C}$$

Valemist 3.1 leitakse logaritmiline vahe ka etteantud tingimustel

$$\Delta t_{ln} = \frac{65 - 35}{\ln \frac{65 - 17}{35 - 17}} = 30,6 \text{ °C}$$

Küttekeha küttepinna erinevuse jaoks standardsest tulemusest, leitakse parandustegur [1]:

$$\beta = \left(\frac{\Delta t_{ln}}{\Delta t_{ln,n}} \right)^n \quad (4.2)$$

kus β on parandustegur

n – küttekeha eksponenttegur;

$$\beta = \left(\frac{30,6}{49,8} \right)^{1,3} = 0,53$$

Lao pindala kokku on 1104 m². Soojuskadu on 5120 W. Nimitingimustele vastava soojusväljastuse jaoks leitakse küttekeha korrigeeritud soojusväljastus [1]:

$$\Phi_{kor} = \frac{\Phi}{\beta} \quad (4.3)$$

kus Φ_{kor} küttekeha korrigeeritud soojusväljastus, W;

Φ – arvutuslikud soojuskaod, W.

$$\Phi_{kor} = \frac{5120}{0,53} = 9660 \text{ W.}$$

Leitud korrigeeritud soojusväljastus on peaaegu kaks korda suurem soojuskadudest, seega on siletoruküttekehade hulga valikul vaja lähtuda sellest numbrist.

4.3. Soojustatud ladu

Lao pindala kokku on 453 m². Soojuskadu on 1837 W. Kõik muud tingimused on samad, mis eelnevas punktis. Valemist 3.3 leitakse küttekeha korrigeeritud soojusväljastus:

$$\Phi_{kor} = \frac{1837}{0,53} = 3466 \text{ W.}$$

4.4. Küttetorude valik

Ladudesse valitud torud peavad küttevõimsusena välja andma vastavalt 9660 W ja 3466 W, et ruumis saaks etteantud soojuse.

Küttetorude valikuks horisontaalne on siledapinnaline küttetoru. Torude arvu leidmiseks tuleb teha arvutused ühe küttetoru võimsuse kohta. Ühe toru läbimõõduks valitakse 100 mm. Pikkuseks 10 m. Ruumi õhu temperatuuriks on 17 °C, toru pinnalt eralduv temperatuur on 65 °C.

Toru pinna ja õhu piirkihil olev keskmine temperatuur leitakse [8]:

$$t_p = 0,5 \cdot (t_s + t_{\delta}) \quad (4.4)$$

kus t_p on õhk-piirkihi keskmine temperatuur toru pinnal, °C;

t_{δ} – õhutemperatuur ruumis, °C;

t_s – temperatuur toru pinnal, °C;

$$t_p = 0,5 \cdot (65 + 17) = 41 \text{ °C}$$

Vastavalt temperatuurile valitakse tabelist õhu soojusjuhtivustegur (λ), soojuskandja kinemaatiline viskoossustegur (ν) ja Prandtl'i arv (Pr) [8]:

$$\lambda_p = 2,833 \cdot 10^{-2} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$\nu = 17,08 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Pr = 0,699$$

Ruumpaisumisteguri leidmiseks (8):

$$\beta_p = \frac{1}{T} \quad (4.5)$$

kus β_p on ruumpaisumistegur, $\frac{1}{\text{K}}$

T – õhu piirkihi keskmine temperatuur, K;

$$\beta_p = \frac{1}{314} = 3,13 \cdot 10^{-3} \frac{1}{K}$$

Grashofi arvu leidmiseks [8]:

$$Gr = \frac{g \cdot d^3}{\nu_p^2} \cdot \beta_p \cdot \Delta t \quad (4.6)$$

kus g on raskuskiirendus, $\frac{m}{s^2}$;

d – toru diameeter, m;

t_s – temperatuur toru pinnal, °C;

ν_p – soojuskandja kinemaatiline viskoossustegur, $\frac{m^2}{s}$;

$$Gr = \frac{9,81 \cdot 0,1^3}{(17,08 \cdot 10^{-6})^2} \cdot 3,13 \cdot 10^{-3} \cdot (65 - 17) = 5,052 \cdot 10^6$$

$$Gr \cdot Pr = 5,052 \cdot 10^6 \cdot 0,699 = 3,531 \cdot 10^6 \quad (4.7)$$

Vabakonvektsooni iseloomustab sarnasusvõrrand [8]:

$$Nu = C (Gr \cdot Pr)^n \quad (4.8)$$

kus C ja n väärtused leitakse tabelist [8]

$$Nu = 0,54(3,531 \cdot 10^6)^{\frac{1}{4}} = 23,408$$

Soojusülekangeteguri väärtus leitakse:

$$\alpha = Nu \frac{\lambda_p}{d} \quad (4.9)$$

$$\alpha = 23,408 \frac{2,833 \cdot 10^{-2}}{0,1} = 6,63 \frac{W}{m^2 \cdot K};$$

Toru küttevõimsus leitakse [8]:

$$\Phi = \alpha \cdot \Delta t \cdot \pi \cdot d \cdot l$$

kus l on küttetoru pikkus, m;

$$\Phi = 6,63 \cdot (65 - 17) \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot 10 = 999,27 \text{ W}$$

Teostatud arvutuste kohaselt on vaja paigaldada valmistoodangu lattu kümme kütetoru pikkusega 10 m ja diameetriga 0,1 m. Vahelao soojusvajadus saab kaetud nelja toruga.

4.5. Küttekehade kinnitamine

Jaotuspunktist soojust lattu kandvad torud on mõõtudega DN 32 ja DN 25. Kogu süsteemi ühendamiseks on vaja DN 25 torud asendada DN 32 torudega. Lisaks on vaja kogu lao pinna katmiseks torustikuga juurde paigaldada 300 meetrit DN 32 toru. Torustik ühendatakse keevisliidesega. Küttekehad kinnitatakse keermikliidesega. Kinnituskõrguseks seinale on arvestatud üks meeter põrandast. Kütetorustik asub 4 meetri kõrgusel. Igale küttekehale tuleb juurde lisada ka sisse ja välja viiva soojuskandja torud, mille pikkuseks on 3 meetrit. Küttekehade ette paigaldatakse kuulventiilid, et vajadusel saaks neid süsteemist eemaldada ilma kogu kütet välja lülitamata.

5. MUUD SÜSTEEMIOSAD

5.1. Õhutusklapid

Vaatamata sellele, et kogu küttesüsteem on kinnine ja vesi ringleb selles pidevalt, on probleemiks õhu ja muude gaaside olemasolu vees [1]. Õhu olemasolu vees tekitab küttesüsteemis mitmeid negatiivseid asjaolusid: korrosioon, küttekeha ebaühtlane soojenemine, soojusülekanne halvenemine. Nende eemaldamiseks süsteemist on vaja paigutada küttekehadele automaatsed õhutusklapid. Planeeritav lahendus näeb ette õhutusklaapi paigalduse igale küttekehale eraldi. See monteeritakse soojuskandjat küttekehast välja viiva toru ülaossa tekitatud spetsiaalsele õhukogumiskohale enne peatrassi tagasi suundumist.

5.2. Termostaatventiilid

Termostaatventiilid on küttesüsteemides kasutusel sisetingimuste temperatuuri reguleerimiseks vastavalt välisõhu temperatuuri muutustele. Termostaatventiile liigitatakse hüdrauliliste omaduste järgi. Pumbaringlusega kahetoru küttesüsteemis on võimalik kasutada ilma vooluhulga piiramiseta normaaltakistusega või vooluhulga piiramisega ventiile [1].

3 tee termostaatventiil annab võimaluse sobiva siseõhu temperatuuri saavutamisel viia soojuskandja küttekehast mööda.

Termostaatventiili valikuks on vajalik teada küttekeha võimsuse tagamiseks vajalikku vooluhulka, vabarõhku ventiili asukohas ja õhutemperatuuri reguleerimistäpsust.

Vooluhulga leidmiseks:

$$G = \frac{1000 \cdot \Phi}{\Delta t \cdot c \cdot \rho} = \frac{1000 \cdot 5120}{30 \cdot 4187 \cdot 987} = 0,04 \frac{1}{s} = 149 \frac{1}{h} \quad (5.1)$$

kus G on vooluhulk, $\frac{1}{h}$;

Δt – soojuskandja peale ja tagasi voolu temperatuuride vahe küttekehas, °C;

Φ – küttekeha soojusväljastus, mis on võrdne ruumi soojuskaoga, W;

c – soojuskandja masserisoojus, $\frac{J}{kg \cdot K}$;

ρ – vee tihedus, $\frac{kg}{m^3}$ (11)

Õhutemperatuuri reguleerimistäpsuseks on 2 K. Rõhulang ventiilis on 8 kPa.

Regulaarventiili valikuks on vajalik leida K_v - arv.

$$K_v = 0,01 \cdot \frac{G}{\sqrt{\Delta p}} = 0,01 \cdot \frac{149}{\sqrt{8}} = 0,53 \quad (5.2)$$

kus K_v on suurus, mis näitab milline vooluhulk läbib täiesti avatud ventiili 100kPa rõhulangu korral;

Δp – rõhulang ventiilis, kPa.

Selle näidu järgi valitakse vastavalt tootjapoolsest tabelist sobilik ventiil küttekehale.

5.3. Andurid

Andur on mõõteseade, mis mõõdab õhu temperatuuri. Regulaator võrdleb andurist tulevat suurst seadesuurusega ja ta valitakse selliselt, et ta sobiks kokku reguleeritava objekti parameetritega. Regulaator juhib ajamit, mis on signaali muundajaks. Ajam valitakse sellise jõuga, millest piisab surve ületamiseks, mis tekib reguleerventiili sulgemisel rõhkude erinevusest ventiili ees ja järel. [1]

Laos vajaminev temperatuur peab jääma vahemikku 15...20 °C. Hetkel kasutusel olev kalorifeeride süsteem on soojusvõimsuse muutmiseks ruumis käsitsi juhitud. Juhtpult on näha joonisel 5. Kuigi süsteemil on olemas ka andurid, siis pole neid kunagi kasutatud ja kas need ka päriselt töötaksid pole teada. Süsteemi tutvustavat juhendit antud seadmele ettevõttest tuvastada ei õnnestunud.



Joonis 5. Juhtpult lao kalorifeerile ATDA- 55-1.

Ruumis sooja saamiseks on vaja andureid ja automaatseid termoregulaatoreid, mis sõltuvalt anduri poolt süsteemile saadetud temperatuurist tagaksid laos õiged hoiutingimused.

Temperatuurianduritena kasutatakse takistustermomteereid, mille töö põhineb metallide ja pooljuhtide elektrilise takistuse muutumisel sõltuvalt temperatuurist. Sõltuvus takistuse ja temperatuuri vahel on stabiilne ja lineaarne suures ulatuses. Nendega saab mõõta väga suurt vahemikku temperatuure. Peamiselt kasutatav metall andurites on keemiliselt inertne plaatina [12].

Soojuskandja temperatuur peab olema seda kõrgem, mida madalam on välisõhu temperatuur. Ruumi jaoks vajaliku temperatuuri saavutamiseks peavad olema küttesüsteemis ka termostaatventiilid, mis takistavad vajadusel kütte liikumist süsteemi.

KOKKUVÕTE

Töös otsiti võimalust AS Scanola Baltic rapisõli tehase valmistoodangulao küttesüsteemi uuendamiseks kalorifeeridelt vesiküttele üleminekuks. Esmalt tehti hoone soojapidavusarvutused lähtudes erinevate kihtide soojusjuhtivusteguritest. Vahetatud katus on viinud soojuskaod läbi katuse enam vähem võrdseks kadudega seinas, mis on mõnevõrra üllatav, sest üldjuhul toimub suurim soojakadu hoonetes just läbi katuse. Samas see ongi olnud katusevahetuse eesmärk.

Seejärel leiti vajalik küttelehendused nii suure ruumi kütmiseks. Hoidmaks ruumides temperatuuri 17 °C on arvutuste kohaselt oluline katta 9660 W ja 3466 W suurune soojusvajadus. Selleks sobivad siledapinnalised küttetorud pikkusega 10 m ja läbimõõduga 0,1 m. Kokku kahe lao peale 14 tükki.

Viimases osas tutvustati küttesüsteemi toimimiseks vajalikke vahendeid.

Kuna toote hoiustamisel on õige temperatuuri säilitamine väga oluline, siis selle teema edasise arenguna tuleks leida lahendused mugavaks ja lihtsaks temperatuuride automaatseks salvestamiseks. Lisaks vajab uurimist ja uuendamist ka lao ventilatsiooni süsteem.

Selgunud on ka, et ettevõttes ei mõõdeta andmeid erinevate osakondade soojusenergia kasutuse kohta. Need tulemused annaksid palju parema ülevaate vajalike küttelehenduste leidmiseks ja ühtlasi ka suurepärase võimaluse järgmisteks uurimusteks.

SUMMARY

The main reason to do this work was to find out the possibility of renewing the heating system of the AS Scanola Baltic rapeseed oil plant final product storage room from the calorifiers to the transfer of water. At first thermal calculation of the building was made on the basis of the thermal conductivity of the various layers. The exchanged roof has led heat losses through the roof almost equal to the losses in the wall, which is somewhat surprising because, as a rule, the biggest heat loss in buildings is through the roof. However, this has been the goal of the roof change.

Then were found the necessary heating solutions to heat up so much space. To maintain a room temperature of 17°C , it is estimated that it is necessary to cover the 9660 W and 3466 W heat demand. For this purpose, flat-surface heating pipes with a length of 10 m and a diameter of 0,1 m are suitable. A total of two stores needs 14 pieces.

The last part of the work introduces the resources necessary for the operation of the heating system.

As the storage of the product is very important for maintaining the correct temperature, solutions for a convenient and easy automatic storage of temperatures should be found as a further development of this topic. In addition the ventilation system of the warehouse needs to analyze and renewing.

It has also become clear that the company does not measure the data of thermal energy from different sections of the plant. These results would provide a much better opportunity to find the necessary heating solutions and an excellent opportunity for further research.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. **Kõiv, T.-A. ja Rant, A.** *Hoonete küte*. Tallinn : TTÜ Kirjastus, 2013.
2. **Tenisberg, V.** *Küte ja ventilatsioon*. Tallinn : Valgus, 1979.
3. **Helstein, K.** *Kvaliteedikäsiraamat*. Jõgeva : AS Scanola Baltic, 2018. lk 3.
4. Maaamet. [Võrgumaterjal] [Tsiteeritud: 16. 05 2018. a.]
https://xgis.maaamet.ee/maps/XGis?app_id=UU82A&user_id=at&LANG=1&WIDTH=1300&HEIGHT=794&zlevel=9,639597.16796876,6511084.9609376&setlegend=FUUKAT102_82=0,FUUKAT103_82=1.
5. **Luu, K ja Aron, J.** *Tööprojekt: Küte ja ventilatsioon*. Tallinn : EPE, 1999.
6. Ebi300. [Võrgumaterjal] [Tsiteeritud: 20. 05 2018. a.] <https://www.ebi300.com/en.html>.
7. **Ilmateenistus.** Ilmateenistus. [Võrgumaterjal] [Tsiteeritud: 20. 05 2018. a.]
<https://ilm.ee/?513278>.
8. **Treier, V ja Hovi, M.** *Soojuslevi alused, kokkuvõtlik konspekt*. Tartu : Eesti Maaülikool, 2011.
9. **Ots, A.** *Soojustehnika aluskursus: Termodünaamika, põlemine, soojusülekanne. Õpik kõrgkoolidele*. Tallinn : TTÜ kirjastus, 2011.
10. **442-1:2014, EVS-EN.** *Radiaatorid ja konvektorid. Osa 1: Spetsifikatsiooni nõuded*.
11. Water - Density, Specific Weight and Thermal Expansion Coefficient. [Võrgumaterjal]
[Tsiteeritud: 20. August 2018. a.] https://www.engineeringtoolbox.com/water-density-specific-weight-d_595.html.
12. **Lehtla, T.** *Andurid*. Tallinn : TTÜ trükikoda, 1996.

LISA

Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, **Kaari Helstein**,

(autori nimi)

sünniaeg **19.10.1981**,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö

AS Scanola BAltic Valmistoodete lao küttesüsteemi uuendamine,

(lõputöö pealkiri)

mille juhendaja(d) on **Andres Annuk**,

(juhendaja(te) nimi)

1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,

1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja

1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____

(allkiri)

Tartu, _____

(kuupäev)

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri) (kuupäev)

(juhendaja nimi ja allkiri) (kuupäev)